

Prédétermination des crues et cotes de projet au moyen des méthodes SHYPRE et SCHADEX. Application à un aménagement fictif sur le Tech

E. Paquet (EDF)

Y. Aubert (HYDRIS Hydrologie)

*SHF-Evénements extrêmes d'inondation
Lyon, 13-14 novembre 2013*



ExtraFlo

prédétermination des valeurs
extrêmes de pluies et crues



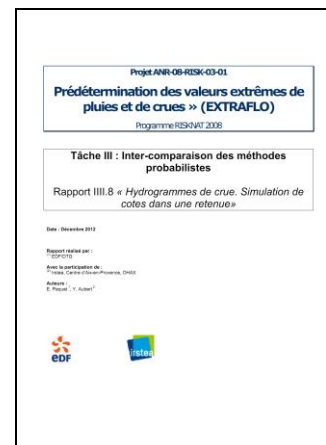
Contexte

Etude réalisée en 2012 dans le cadre du projet EXTRAFLO (rapport III.8)

Objectifs de l'étude :

- Comparer les estimations de quantiles extrêmes de crues (jusque $T=10\,000$ ans) des méthodes SCHADEX et SHYPRE
- Produire une distribution complète de cotes extrêmes, avec deux méthodes
- Comparer avec les approches classique (i.e. hydrogramme de référence)

⇒ Application à un aménagement fictif sur le Tech (Pyr. Orientales)



Problématique

Plusieurs variables caractérisent les scénarios hydrologiques extrêmes : débit de pointe, volume (sur différentes durées), gradient de montée, etc.

L'expression rigoureuse du temps de retour de scénarios hydrologiques multivariés n'est pas facile,

Résumer l'aléa hydrologique par un scénario de référence (méthode classique) peut être réducteur,

La variable de dimensionnement (i.e. conditionnant la stabilité) est la cote atteinte en crue, elle résume l'aléa vu du barrage,

Les méthodes de simulation stochastiques pluie-débit génèrent une grande diversité de scénarios hydrologiques,

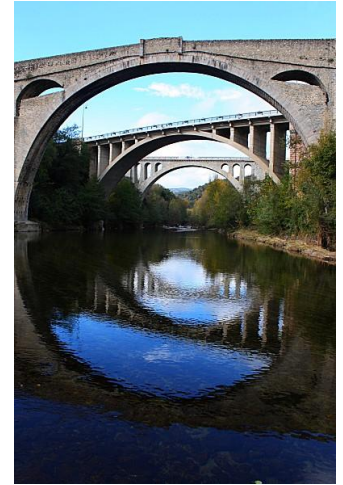
⇒ La simulation de cotes extrêmes permet de modéliser la réponse du système hydraulique aux scénarios hydrologiques simulés, avec toutes leurs composantes et une probabilisation rigoureuse.

Le bassin du Tech à Reynès

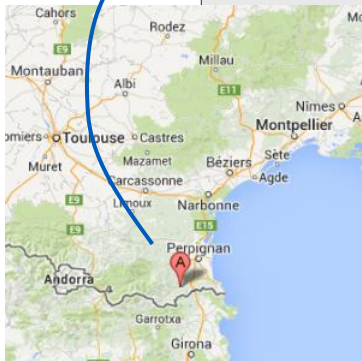
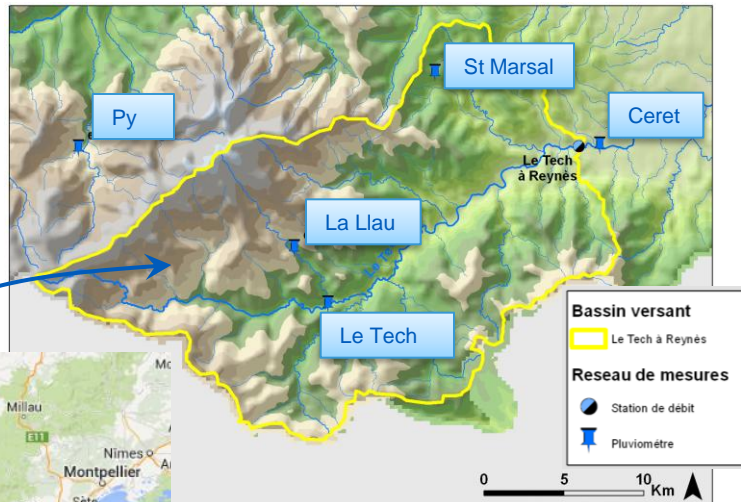
Bassin versant des Pyrénées Orientales, 477 km²

Régime méditerranéen, avec influence nivale
Précipitation annuelle moyenne ≈ 1000 mm

Les crues sont liées à des précipitations méditerranéennes intenses
(exemple des événements de 1940 et 1992)

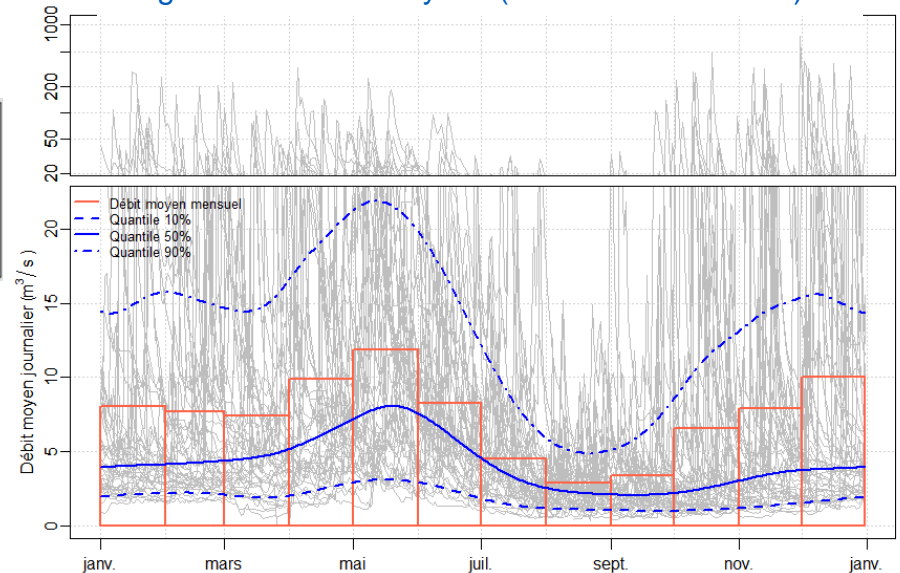


↑ Le Pont du Diable à Céret



↑ Pluie de bassin construite avec 5 postes, sur la période 1957-2005

Régime du Tech à Reynès (données 1968-2008) ↓



L'Aiguat de 1940

Un épisode pluvieux catastrophique d'origine méditerranéenne:

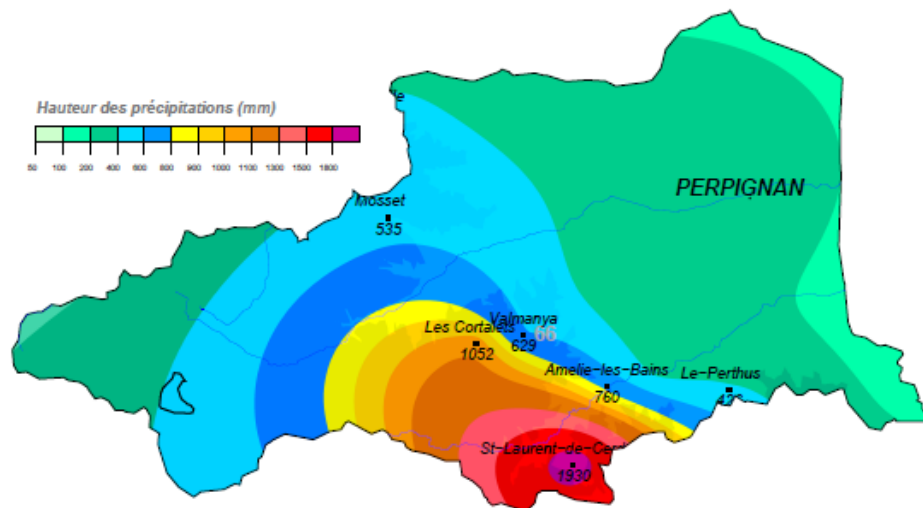
Touche les Pyrénées Orientales, l'Aude et la Catalogne espagnole

Près de 1000 mm de pluie enregistrés en 24h à St Laurent de Cerdans (2 m en 5 jours)

Entre 2500 et 4000 m³/s au Pont du Diable

48 victimes en France, +300 en Espagne

Des dégâts considérables...



↑ Cumul des précipitations en 5 j (16-21 oct 1940)
source pluiesextremes.meteo.fr



↑ Le Tech au Pont Joffre, Perpignan, 17 oct. 1940



↑ Dégâts de la crue de 1940
à Amélie-les-Bains

Caractéristiques de l'aménagement fictif

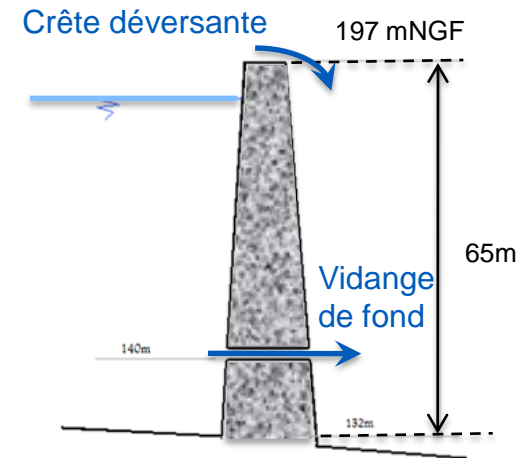
Dimensionnement inspiré des barrages de Vinça et de l'Agly

Fonctions soutien d'étiage + écrêteur de crues

Capacité 96 Mm³, hauteur en crête maximale 65 m

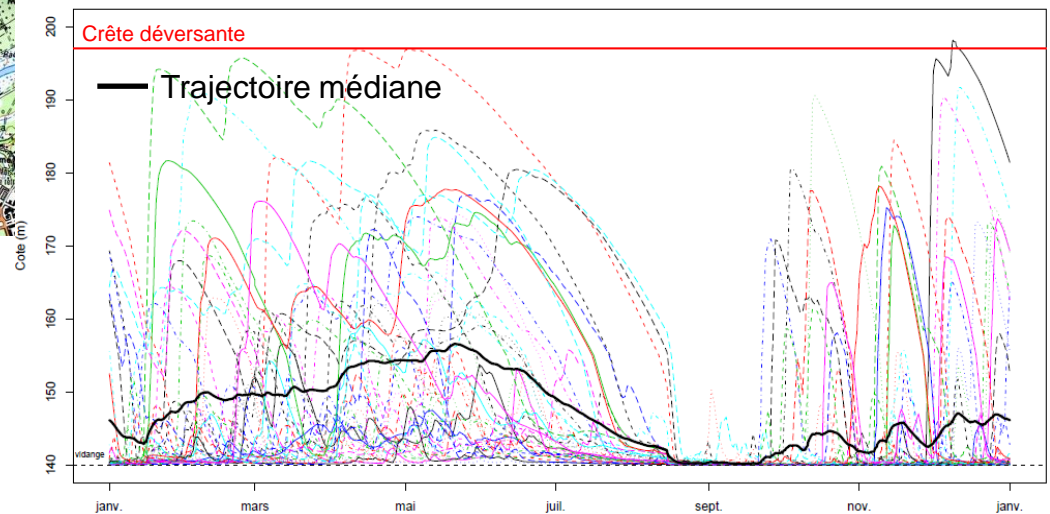
Crête déversante avec lame d'eau ≈ 4 m pour passer Q_{1000}

Vidange de fond avec débitance variable dans l'année
(objectif = retenue vide le 1^{er} septembre)

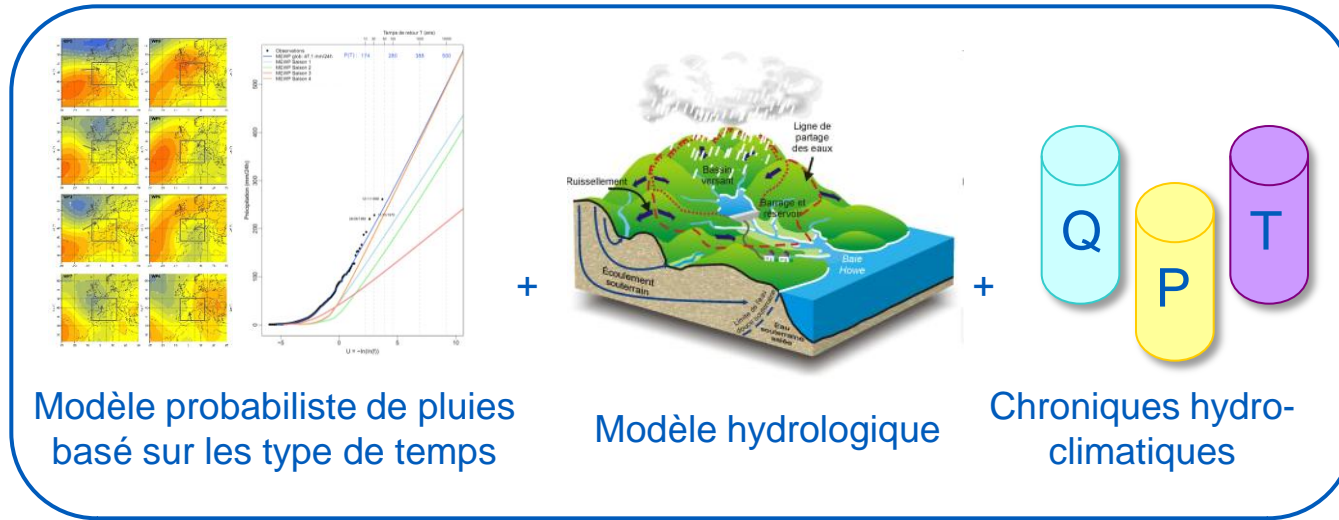


Emplacement du barrage fictif ↑

Chroniques des cotes simulées sur la période 1968-2008 ↓



Principes de la méthode SCHADEX



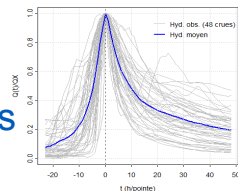
Simulation
stochastique
pluie-débit



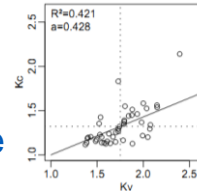
Distribution des
débits moyens journaliers



Collection
d'hydrogrammes



Modèle de
coefficient de
forme variable



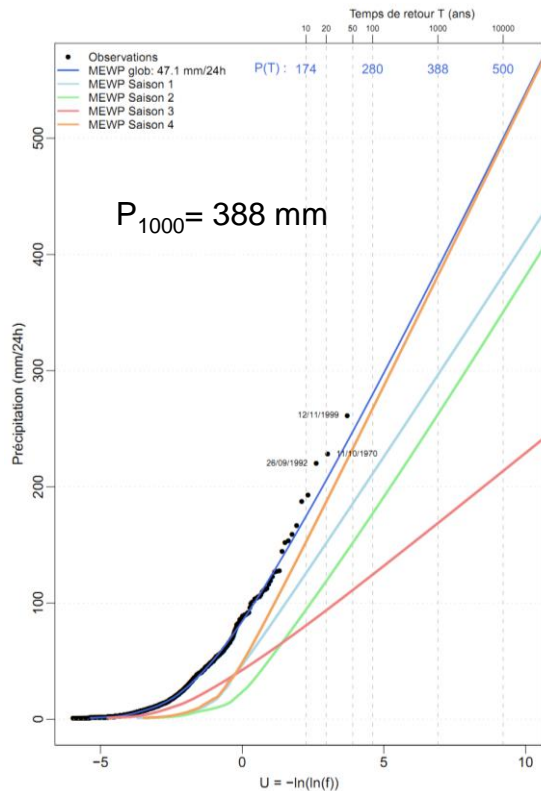
Distribution des
débits de pointe

Estimations SCHADEX pour le Tech

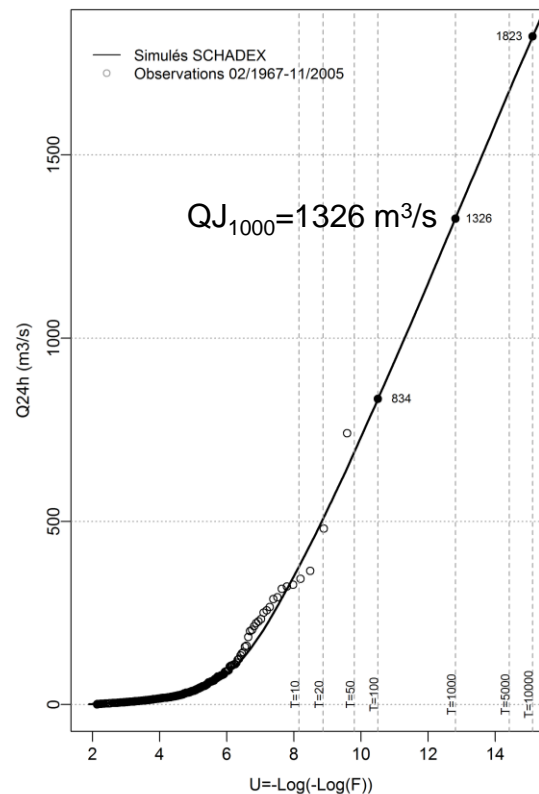
Modèles hydrologique et probabiliste basés sur les pluies de 1957-2005, débits de 1967-2005

2 millions de crues simulées pour établir les distributions jusque $T=10\,000$ ans

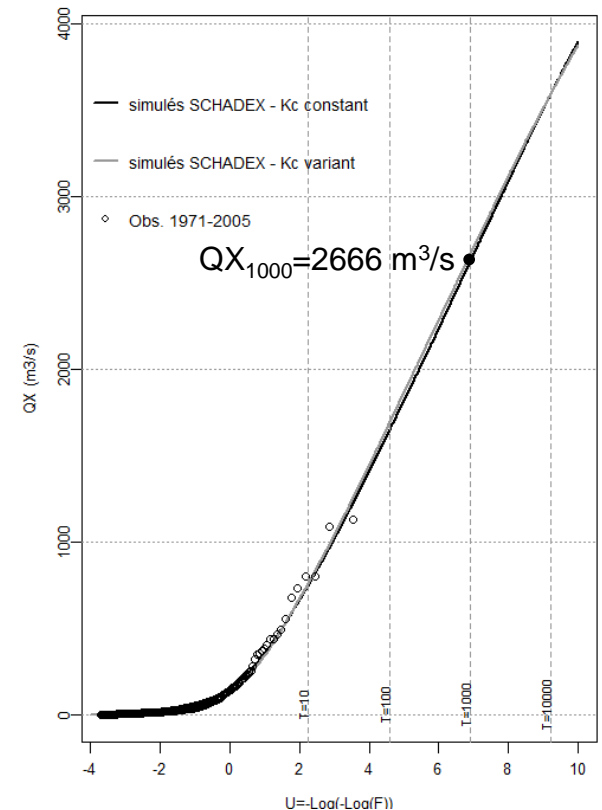
Débits de pointe calculés avec un coefficient de forme constant ou variable



Pluie de bassin

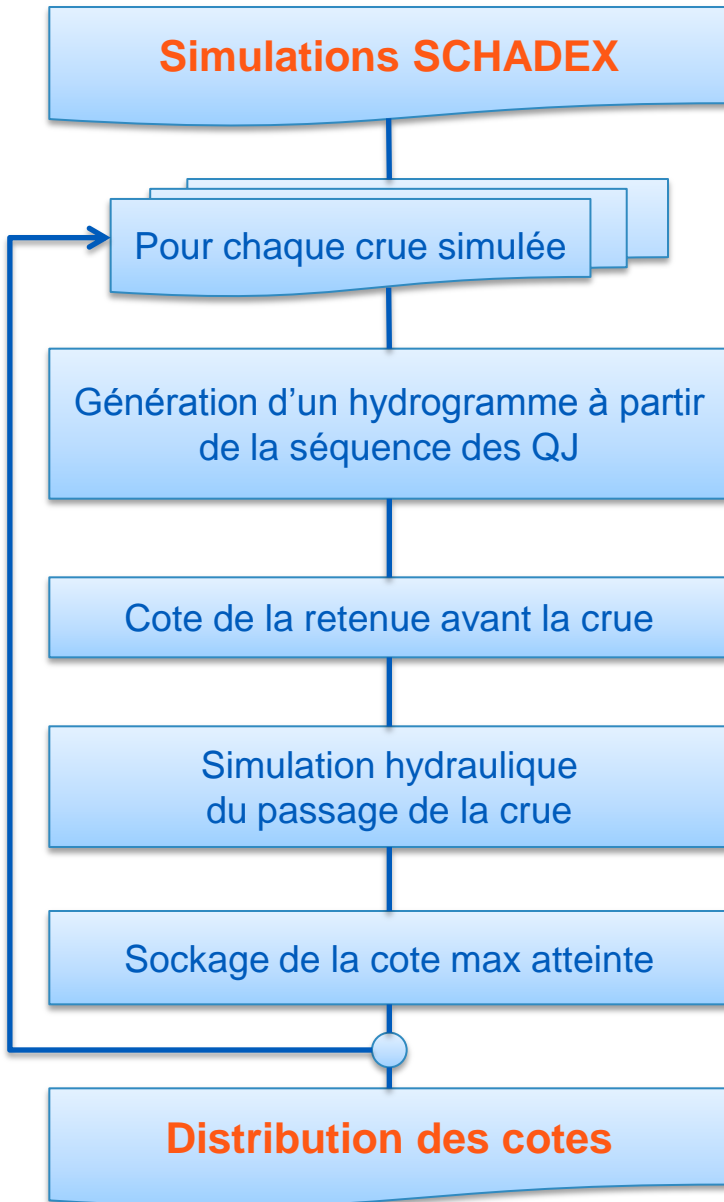


Débits moyens journaliers

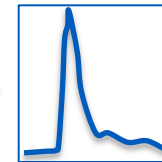
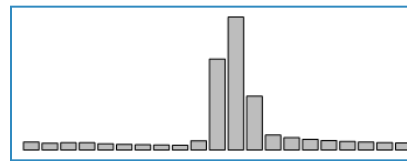


Débits de pointe

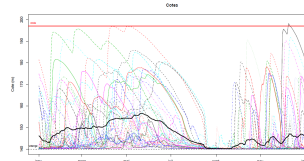
Simulation des cotes avec SCHADEX



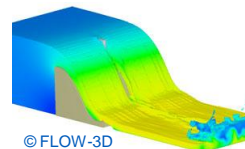
Exemple : crue #1172013,
simulée dans les conditions du 14/10/1979



$QJX=1203 \text{ m}^3/\text{s}$
 $QX=2498 \text{ m}^3/\text{s}$

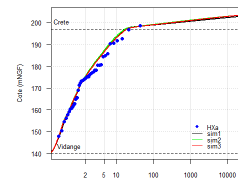


Cote init. (13/10/1979) = 192.50 m

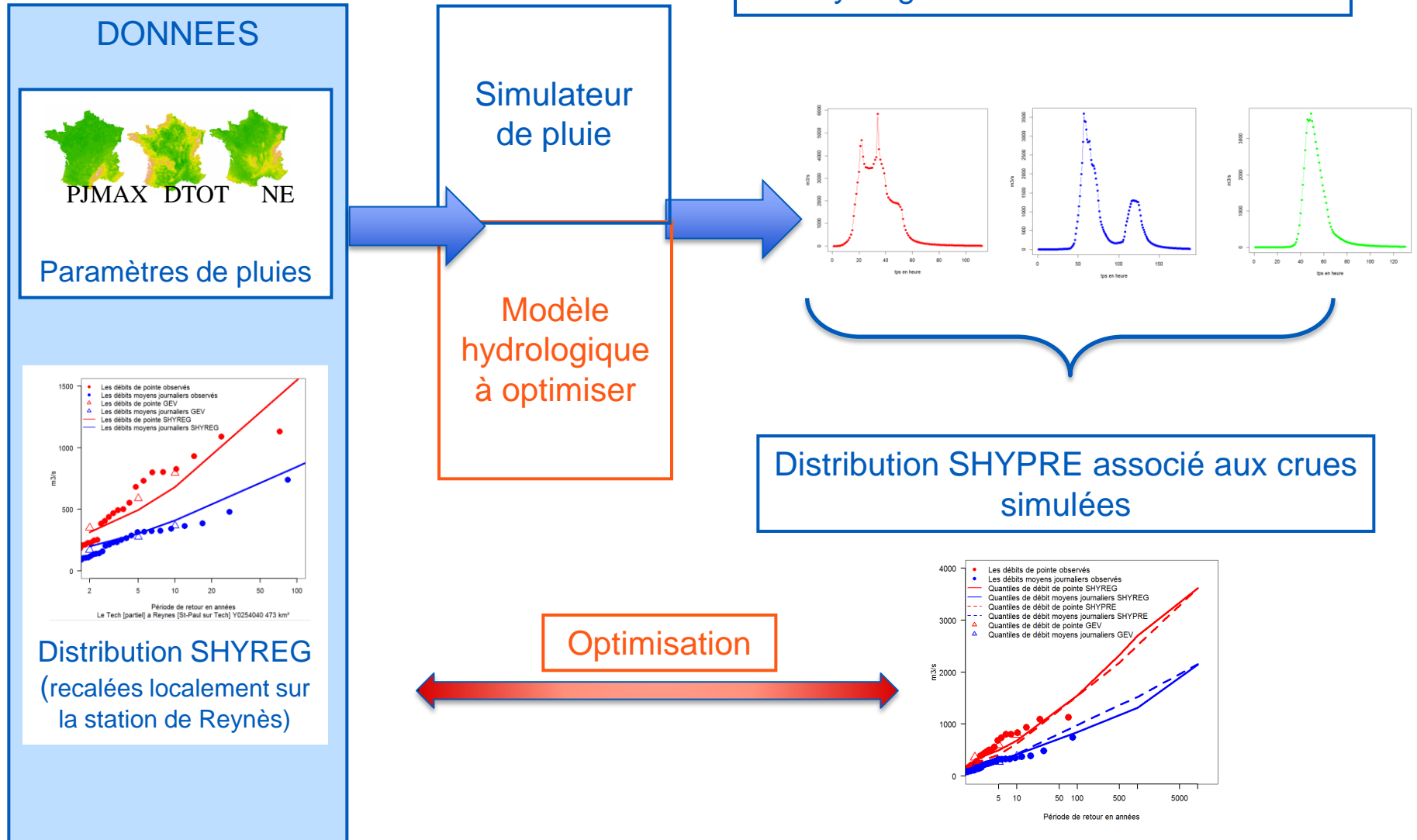


© FLOW-3D

$HX=201.56 \text{ m}$



Calage et mise en œuvre de SHYPRE



Détermination de la distribution des cotes par la méthode SHYPRE

Simulations $\sim 100 \times 50\,000$ hydrogrammes de crue par la méthode SHYPRE

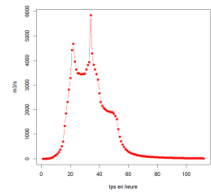
+

Pour chaque hydrogramme :
détermination de la cote initiale
et du coefficient de débitance la
vidange de fond

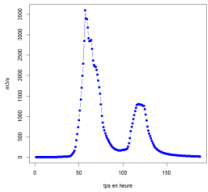
→ Laminage de la crue dans
l'ouvrage

↓
Cote horaire
maximale du
plan d'eau,
 Z_{\max_i}

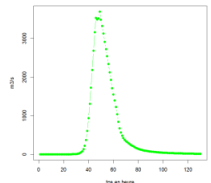
↓
Distribution de
cote maximale
horaire



Crue₁



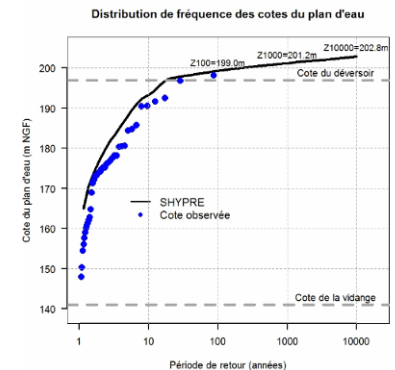
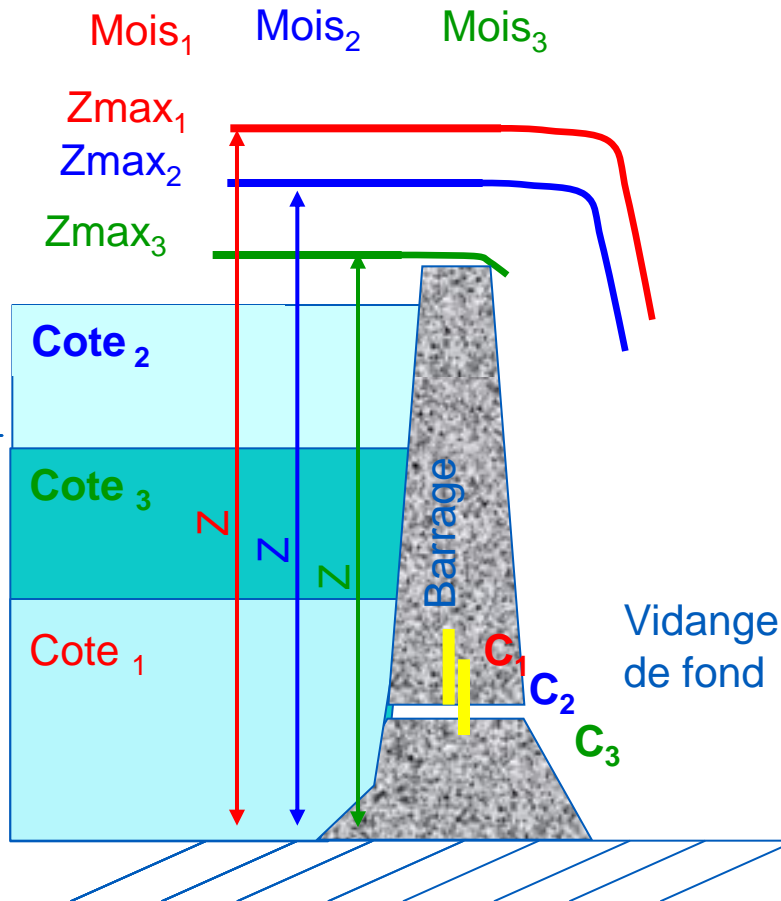
Crue₂



Crue₃

⋮

Crue_n



Distributions des cotes simulées

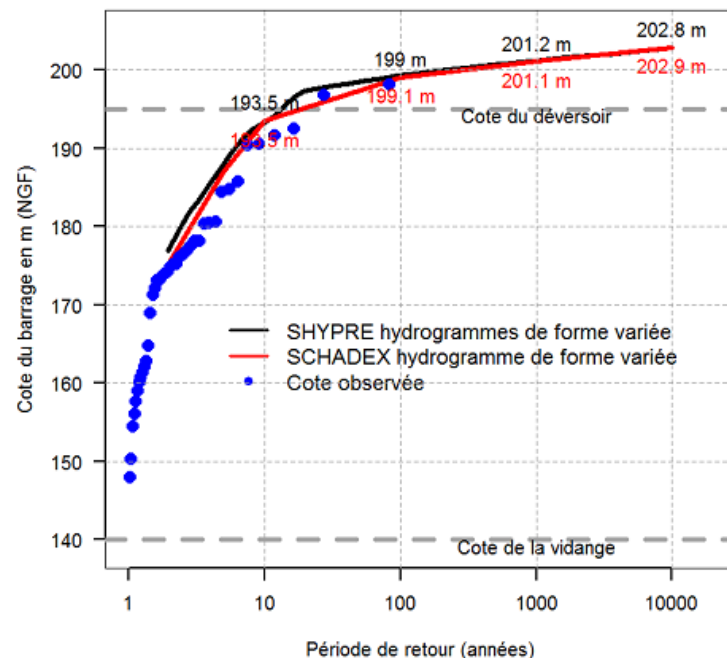
Issues des calculs complets **SHYPRE** et **SCHADEX**

Les distributions simulées sont cohérentes avec la distribution pseudo-observée (sans calage explicite)

Les deux méthodes fournissent des résultats très proches

La crête déversante est atteinte pour $10 < T_{\text{ret}} < 20$ ans

Pour $T=10\,000$ ans, la cote atteinte dépasse la crête de près de 6m, pour un débit déversé de l'ordre de $2700 \text{ m}^3/\text{s}$



Distributions de cotes simulées ↑

Temps de retour	(ans)	10	100	1000	10 000
Cote SCHADEX	(mNGF)	193,5	199,1	201,1	202,9
Cote SHYPRE	(mNGF)	193,5	199,0	201,2	202,8
Écart	(m)	0	-0,1	+0,1	-0,1

Valeurs aux quantiles remarquables ↑

Analyse de la dynamique des crues

Les cotes extrêmes générées sont proches, mais des différences sont à souligner...

Sur les quantiles de débit estimés :

Ecart raisonnable sur les pointes (6% pour QX_{1000})

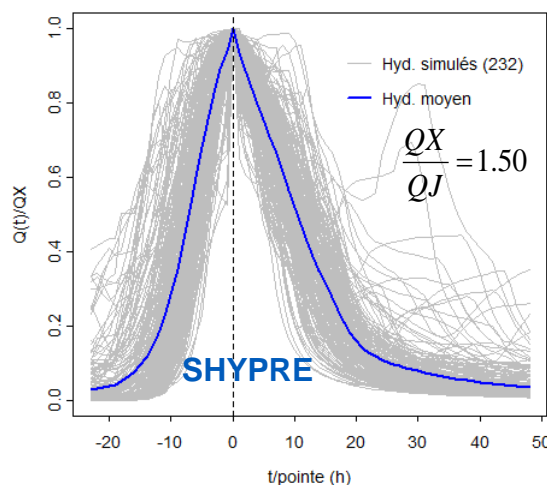
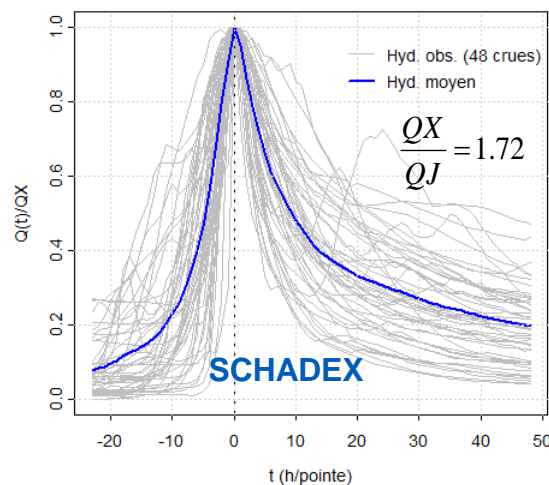
Ecart variable des volumes suivant les durées

Sur les formes des hydrogrammes générés :

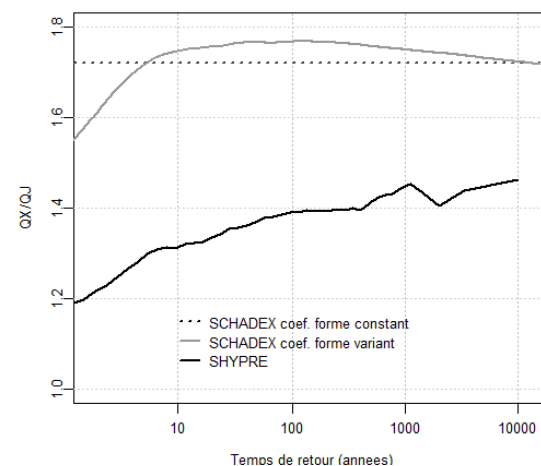
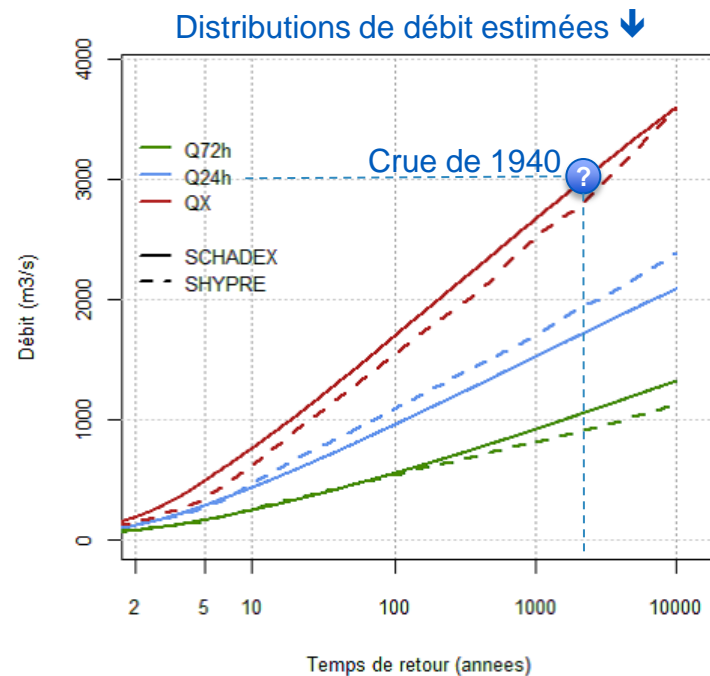
Formes illustrées par les hydrogrammes moyens

→ SCHADEX génère des hydrogrammes plus pointus

→ SHYPRE génère des événements durée variable



↑ Hydrogrammes T=1000 utilisés pour la simulation de cotes



↑ Ratios des distributions QX et QJ

Comparaison avec l'approche classique

Simulation du passage de **la crue QX₁₀₀₀ ans avec un hydrogramme de référence** (i.e. l'hydrogramme moyen) et deux hypothèses de cote initiale:

Méthode	Cote T=1000 ans (mNGF)
Approche classique – retenue vide	200.5
Approche classique – retenue pleine	202.2
Simulation SCHADEX de référence	201.1
Simulation SHYPRE de référence	201.0

→ Les simulations de référence encadrent les deux valeurs de l'approche classique

Simulations de cotes avec **SCHADEX et SHYPRE et un hydrogramme constant** (i.e. l'hydrogramme moyen):

Méthode	Cote T=1000 ans (mNGF)
SCHADEX + hydrogramme constant	200.6
Simulation SCHADEX de référence	201.1
SHYPRE+ hydrogramme constant	200.2
Simulation SHYPRE de référence	201.0

→ Sous-estimation de la cote par les approches avec hydrogramme constant

Conclusions

Les estimations SCHADEX et SHYPRE sont proches malgré des différences méthodologiques importantes, et des écarts sur certaines variables intermédiaires

- Pas un gage de *justesse* des extrapolations proposées
- Mais un bon signe sur leur *robustesse*

Ne pas prendre en compte la variabilité des formes de crues conduit à sous-estimer les cotes extrêmes

L'étude met en évidence les qualités d'une approche par simulation de cote

- Focus sur une variable clé du dimensionnement, qui résume efficacement plusieurs variables hydrologiques
- Exploration d'une grande diversité de scénarios hydrologiques, permet de tester efficacement un dimensionnement

Perspectives

Explorer d'autres types d'ouvrages (e.g. moins capacitif)

Etendre la simulation de cotes aux ouvrages vannés

Introduire des lois de gestion de l'aménagement en crue

Introduire des modes de défaillance de l'ouvrage avec leur probabilité associée (blocage d'une vanne, colmatage d'une passe) dans la simulation stochastique

Merci de votre attention !

Références

- Arnaud, P. & J. Lavabre (2002) Coupled rainfall model and discharge model for flood frequency estimation. *Water Resources Research* 38(6): 1075-1085.
- Arnaud, P., J. Lavabre, B. Sol & C. Desouches (2008) Regionalization of an hourly rainfall generating model over metropolitan France for flood hazard estimation. *Hydrological Sciences Journal* 53(1): 34-47.
- Aubert, Y. Estimation des valeurs extremes de débit par la méthode SHYREG: réflexions sur l'équifinalité dans la modélisation de la transformation pluie-débit (2012) Université Pierre et Marie Curie, thèse de Doctorat, 318 p.
- Aubert, Y., P. Arnaud, P. Ribstein & J. A. Fine (2013) La méthode SHYREG débit, application sur 1605 bassins versants en France Métropolitaine. *Journal des Sciences Hydrologiques* Article accepté pour publication.
- Farvacque, E. (2012) Simulation de cotes de retenue dans un barrage à partir des résultats de la méthode SCHADEX. Rapport de projet de fin d'études, Grenoble INP-ENS3
- Garavaglia, F. (2011) Méthode SCHADEX de prédétermination des crues extrêmes. *Ph.D. thesis*, Université de Grenoble.
- Lang, M. & J. Lavabre (2007). Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations. Edition QUAE, Update Sciences & Technologies, Paris, 232 pages.
- Lang, M. & J. Lavabre (2009). Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations. Quae. Versailles: 232 p.
- Lavabre, J., P. Arnaud, P. Royet, J.-A. Fine, S. Delichère, Z.-X. Fang & F. Foussard (2009). Crue de projet ou cote de projet ? Exemple des barrages écrêteurs de crue du département du Gard. . Colloque CFBR-SHF: «Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues», Lyon, 20-21 janvier 2009.
- Paquet, E. & Y. Aubert (2013). ANR ExtraFlo - Action 8 : Hydrogrammes de crues - Simulation de cotes extrêmes: 53 p.
- Paquet E. et al (2013), The SCHADEX method: a semi-continuous rainfall-runoff simulation for extreme flood estimation, *Journal of Hydrology*, 495: 23-37.
- Pardé, M. (1941). La formidable crue d'octobre 1940 dans les Pyrénées-Orientales. *Revue Géogr. des Pyr. et du SO*, 12, 237-279.
- Penot, D. (2011) Génération de scénarios hydrologiques de référence pour les crues de projet calculées par la méthode SCHADEX. Rapport de projet de fin d'études, Grenoble INP-ENS3
- Peyras, L., P. Arnaud, P. Royet, C. Carvajal & D. Boissier (2009). Modelisation probabilistique de la cote de remplissage d'un barrage. Colloque CFBR-SHF: «Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues», Lyon, 20-21 janvier 2009
- Royet, P., G. Degoutte, L. Peyras & J. Lavabre (2008). Cotes et crues de protection, de sûreté et de danger de rupture. Colloque CFBR-SHF: «Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues», Lyon, 20-21 janvier 2009.